

采用 Geodatabase 技术构建流域水文系统地理数据库^{*} ——以太湖地区西苕溪流域为例

李恒鹏, 刘晓玫, 李金莲

(中国科学院南京地理与湖泊研究所, 南京 210008)

摘要:如何表达流域复杂的系统结构是实现流域信息与模型集成, 构建流域决策支持系统需要研究的首要问题。在分析现有流域数据库存在的基础上, 以太湖流域西南部的西苕溪流域为研究区, 采用面向对象的 Geodatabase 地理数据技术, 通过分析流域系统的组成要素及过程, 提出面向流域水文、水质应用需求的数据库信息组织体系; 应用 Arcgis 的 Archydro 水文分析模块, 基于国家基础地理数据库中的数字地形提取流域要素信息, 构建了包括河流流线、集水区出水口、监测台站位置、湖库出口等要素的完整水文网络, 并分析水文网络要素上下游关系, 对流域集水区与河流的水力联系进行表达; 通过分析流域监测台站空间信息、监测项目、时间序列的信息特征, 设计 Geodatabase 的表结构和连接类, 实现流域空间特征与状态序列的一体化表达。研究可以为流域数据库建设及流域决策支持系统信息平台构建提供一些技术参考。

关键词:太湖流域; Geodatabase; 水文系统; 数据库; 西苕溪

Building Watershed Hydrographic Database by Geodatabase Data Model: A Case of Xitaoxi Watershed in Taihu Basin

LI Hengpeng, LIU Xiaomei & LI Jinlian

(Nanjing Institute of Geography and Limnology, CAS, Nanjing 210008, P. R. China)

Abstract: The watershed is a complex system with lots of components and relationships among them. How to design the watershed hydrographic database is the key to integrate the watershed information and the hydrographic model for watershed decision analysis. In China, the hydrographic information is mainly acquired from national geographic database and water resource database. Due to the service aims and database technology, there are some shortages for watershed management application. Firstly the database just collects the hydrographic information about flood control and water resource, and lack of water quality information. Secondly, the hydrographic information organized by map layer and lack of the information about relationship between different watershed component. Thirdly, the river network is lack of correct logic relationship, such as connection between river and water body, between river and station location. This paper, using geodatabase technology and Arc Hydro Data Model, designs a watershed database of Xitaoxi watershed integrating hydrographic information for hydrologic and water quality analysis, and express the system structure and relationships among different components. The watershed boundary, river, outlet are acquired by analyzing DEM using Arc Hydro Toolset in Arcgis environment. The network is built by collecting the flow line, outlet of watershed and lake, monitoring station. The hydrologic relationship is built by Arc Hydro schematic network. In addition, the Time serials are integrated with watershed geodatabase by design tables and relate classes.

Keywords: Taihu Basin; Geodatabase; hydrographic system; Database; Xitaoxi River

近年来计算机技术、地理信息技术、空间分析技术的快速发展为流域过程模拟和自动化决策提供了大量方法和手段。将数据库与流域模拟模型高效结合需要合理组织流域信息。目前我国流域信息主要来源于国家基础地理信息库和水利部水资源信息库。这些数据库受数据格式、服务目标、建库时技术条件及流域系统本身的复杂性等因素影响, 在流域分析、过程模拟和辅助决策中存在以下问题: 一是流域信息在组织

* 中国科学院知识创新项目 (CXBIGLAS-A02-013)、国家自然科学基金 (40401056)、“973 计划”课题 (2002CB412310) 和中国科学院南京地理与湖泊研究所所长专项基金项目联合资助。

2004-06-18 收稿; 2005-06-02 收修改稿。李恒鹏, 男, 1973 年生, 副研究员, 博士, E-mail: hpli@niglas.ac.cn。

方式时采用 Coverage 数据模型,这一数据模型根据点、线和面等空间特征差异组织流域信息,而不是根据地理要素组织流域信息,而且将空间属性和地理属性分别存放与不同文件。面向对象的地理数据库 Geodatabase 则可以很好的解决上述问题,它是将空间对象属性和行为结合起来的智能化地理数据模型^[1],与用户通常认识事物的特点及分类方法很接近,是对地理事物最接近现实的表达;二是现有数据库对流域要素空间联系和水力联系描述不够完善,如缺乏对流向的表达,缺乏流域不同要素、不同空间单元的水力联系表达;三是现有数据库河流网络缺乏严格的逻辑关系,如河流、湖泊缺乏联系、单线河双线河分离,此外也缺乏对河流上下游连接关系的网络表达;四是缺乏对流域一些重要要素的表达和集成,如流域水文响应单元,流域监测台站的时间序列等。以上这些问题导致流域数据库与模型集成较为困难,限制了流域数据库在流域管理自动决策中的应用。本文从以上问题出发,以西苕溪流域为例,采用面向对象的 Geodatabase 地理数据库技术,应用 Arcgis 的 ArcHydro 分析工具,提取流域要素信息并对流域信息进行合理组织,建立面向对象的流域水文系统地理数据库,为流域数据库构建及其应用提供一个可以借鉴的实例。

1 流域水文系统地理数据模型设计

1.1 流域系统特征

流域是指地表水或地下水水系所包围的区域,是某一河流或湖泊的集水区域。流域以水为纽带将水、土、气、生、人等地理要素连接为一个普遍具有因果联系的相对独立系统,以水分循环为主的水文过程及伴随的物质输移是流域系统的核心,影响这一过程的要素主要有大气降水、植被状况、地形、土壤和含水层,涉及的过程包括降水过程、蒸发过程、截留过程、下渗过程、产流过程、汇流过程、河流输送过程、以及伴随的物质输移过程(图 1)。这些要素及过程是流域水文模拟及水资源管理研究的主要内容。

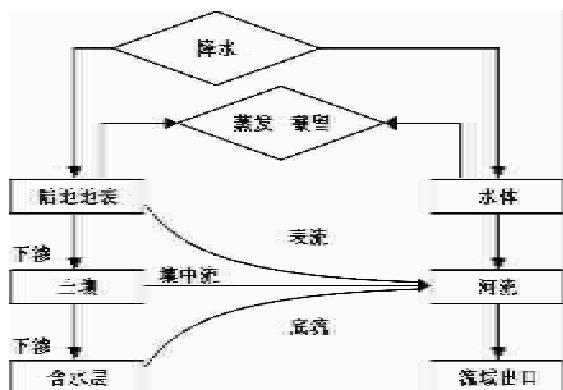


图 1 流域水文系统及过程

Fig. 1 Systems diagram of the watershed runoff process

1.2 流域系统数据库设计

确定应用目标是数据库设计的首要任务。本项研究的流域系统数据库是针对流域水文水质模拟、水资源管理决策应用,表达流域系统的空间结构和水力联系,合理组织和管理流域信息。从这一应用目标出发,流域数据库应该包括的流域水文要素有集水区、出水口、河流网络、湖泊及水库、监测点(台站和水质监测监测点)、陆地地表水文响应单元、地形地貌等;流域系统的水文联系包括逻辑关系严密的水文网络、流域集水区与河流网络的空间联系、流域监测点和河流的空间联系、流域自上游到下游空间单元的水力联系;反映流域水文状态特征的时间序列包括降水、流量、水位和水质监测等;此外还有一些与流域水文系统相关,用于了解流域基本状况的流域辅助信息,如流域行政区划、城

镇及居民点、道路体系、原始河流网络,这些信息在流域水质监测、流域水质分析和评价中涉及到,如设计流域监测点时需要分析路线可达性,水质分析需要考虑城镇和居民点的生活污水和工业污染,行政区也是大量流域信息组织的基本单元。将这些信息按照其相互联系及类别进行组织(图 2)。

流域地理数据库采用面向对象的 Geodatabase 地理数据库模型,Geodatabase 将地理要素及关系作为对象来描述,可以表达其属性与行为,Geodatabase 不同于 Coverage 和 Shape 地理数据库模型,它除了可以将地理空间要素及其属性保存于同一文件,而且可以保存要素关联、网络、表格和栅格图层^[2]。此外,地理数据库采用 Access 或 SQL 等关系数据库,其内容除了可以被 Arcgis 访问为,还可以被 EXCEL、ACCESS、以及 VB、VBA、VC 等计算机语言访问,便于水文及水质模型访问获取参数。流域要素根据图 2 的分类,利用 Geodatabase 的数据集、数据类、关系类、网络类、栅格数据类和表进行组织,其中流域参考信息根据原始国家基

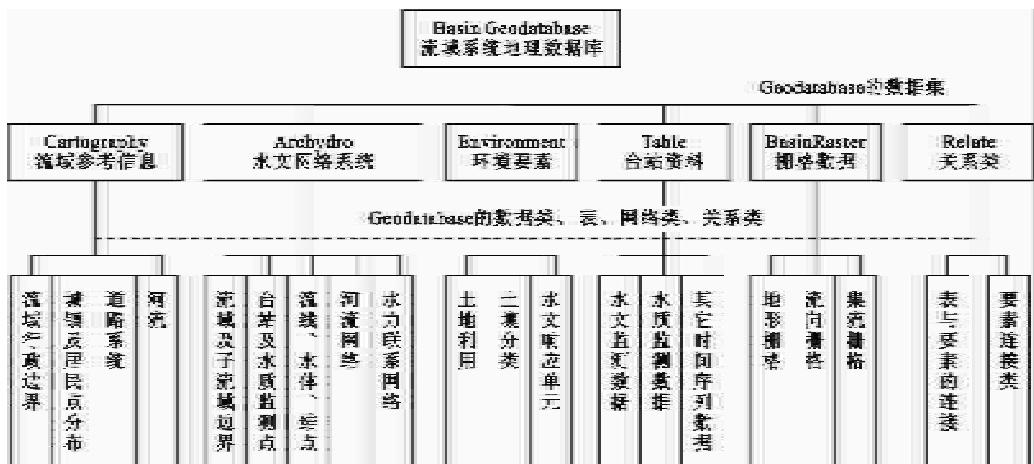


图 2 流域系统地理数据库结构

Fig. 2 The structure of watershed system Geodatabase

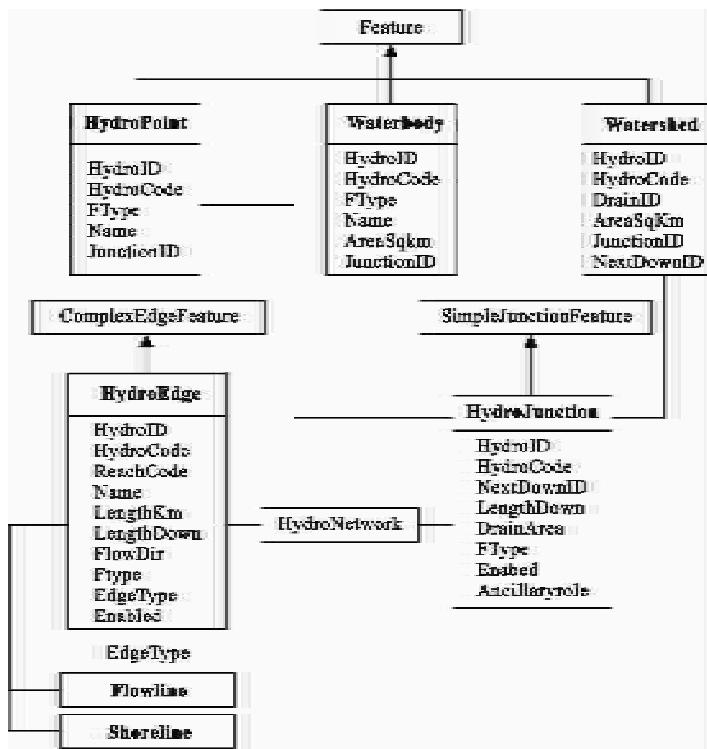


图 3 Archydro 水文网络数据模型结构

Fig. 3 The structure of hydrology network in ArcHydro geodatabase model

础地理信息的字段设置进行表达,流域土地利用采用 1: 100000 万中国 TM 解释土地水利图数据库的分类方法设置字段,土壤信息按照土壤普查分类系统设置类别,流域水文单元除包括基本空间信息(周长、面积)还包括土壤类型、土地利用类型、所属流域。流域网络系统中的水文要素及联系采用 ArcHydro 水文数据模型设置字段。

ArcHydro 水文数据模型是由 ESRI 公司与德克萨斯大学水资源研究中心合作完成的, 针对流域水文信息与水文模型集成存在的问题, 在分析流域水文系统结构、总结目前水文模型需要参数的基础上, 采用 Geodatabase 地理数据库技术构建的水文数据模型^[3]。ArcHydro 水文数据模型是面向对象的地理数据模型, 它将要素、空间单元、水文联系等作为对象, 表达流域系统的结构, 组织不同对象的属性特征, 实现最接近流域现实的表达; ArcHydro 水文数据模型集成了流域要素状态的时间序列, 是一个时空地理数据模型; ArcHydro 水文数据模型包括了流域水文模拟最基本的流域要素和参数, 是流域模拟的标准信息平台, 如图 3 是 ArcHydro 数据模型的基本结构^[4]。HydroID 是各流域要素的唯一表示字段, 为表达要素联系的连接字段, Ftype 是水文要素的类别编码, 台站、水质监测点及河流结点通过 Ftype 识别, 集水区, 河流结点中设有 NextdownID 字段记录下游流域及结点的 HydroID, 并通过建立连接类和网络类表达其水力联系。

2 流域水文地理数据库的建立

2.1 流域分析及要素提取

西苕溪流域位于太湖地区浙西水利分区, 面积为 2267 km², 地势西南高, 东北低, 依次呈山地、丘陵、平原, 地面高程在 2~1578 m 之间, 因流域地形起覆较大, 流域结构相对简单, 采用国家 1:50000 基础地理信息中 25 m 的数字地形及水系图, 面状水体可经过手工或 arcgis 的空间分析增加中心流线, 形成中心流线图层。因 DEM 都存在不同程度的误差, 应用 DEM 进行河流分析与提取时经常出现河流位置与实际河网位置不匹配, 为解决这一问题, 将流线图转为栅格图, 通过栅格地图运算将 DEM 中河流所在单元人为降低一定数值, 并对相邻 3~5 个像元进行平滑处理, 重建与现实河流匹配的 DEM, 即 ArcHydro 的 Agree 处理, 然后采用 Arcgis 流域分析模块获取流向、集流栅格图, 并在此基础上提取河流、集水区、最长流线等流域要素, 结合原始 DEM 和流向栅格图, 获取与水文模型密切相关的河流坡降、平均高程、流域面积、河流长度、河流等级等相关参数, 形成流域河流网络数据集的主要要素(图 4)。数据库中流域参考信息可由 1:50000 国家基础地理信息相关图层直接导入到 GeodataBase 中, 环境要素中的土地利用和土壤采用目前通用的分类方式, 并导入到 Geodatabase 的相关数据集中, 水文响应单元由集水区与土地利用、土壤图叠加获取。

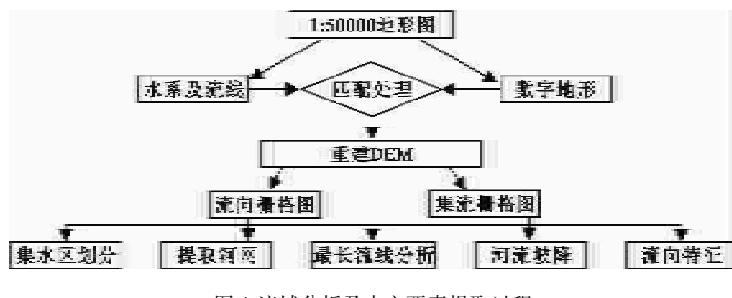


图 4 流域分析及水文要素提取过程

Fig. 4 Watershed system delineation and hydrologic information requirement

2.2 流域水文要素的空间网络联系

流域通过水文过程形成了要素的普遍联系, 要素的分布、空间联系和网络关系表达了水文系统的空间结构。从水循环过程、系统结构、模型表达及目前获取信息的手段来看, 流域要素应该包括集水区结构、河流网络、湖泊水库、水文水质监测站, 水文响应单元, 这些要素的空间联系描述了水及以水为媒介的输移路径, 其空间关系可以通过流线网络结点与其它要素建立连接来表达, 主要包括集水区出水口与河流网络的结点联系、湖库出口与河流网络的结点联系、监测点与河流网络的结点联系以及水文响应单元与集水区的空间包含关系, 这种连接关系可以通过要素共同字段来建立。将河流网络的结点分为集水区出水口、湖库出口、监测站和河流一般结点四类, 集水区出水口属性表中包括与其相连接的集水区 HydroID 字段值、湖库出口属性表中包括与其相连接的湖库 HydroID 字段值、监测站所在河流位置结点属性表中包括监测站的 HydroID 字段值, 然后在 Geodatabase 中建立要素连接类表达它们的空间联系, 水运动方向可以通过网络中

的流向来表达(图 5). 集水区与水文响应单元是一种空间包含关系, 可以将集水区与土地利用、土壤图叠加, 获取水文响应单元所在的流域 HydroID 值, 在 Geodatabase 中建立水文单元与集水区的空间联系. 通过建立流域要素的空间网络关系, 可以从任何一个网络结点搜索与其联系的上游流域、河段, 水文响应单元, 统计河流长度, 集水区面积以及集水区地表属性.

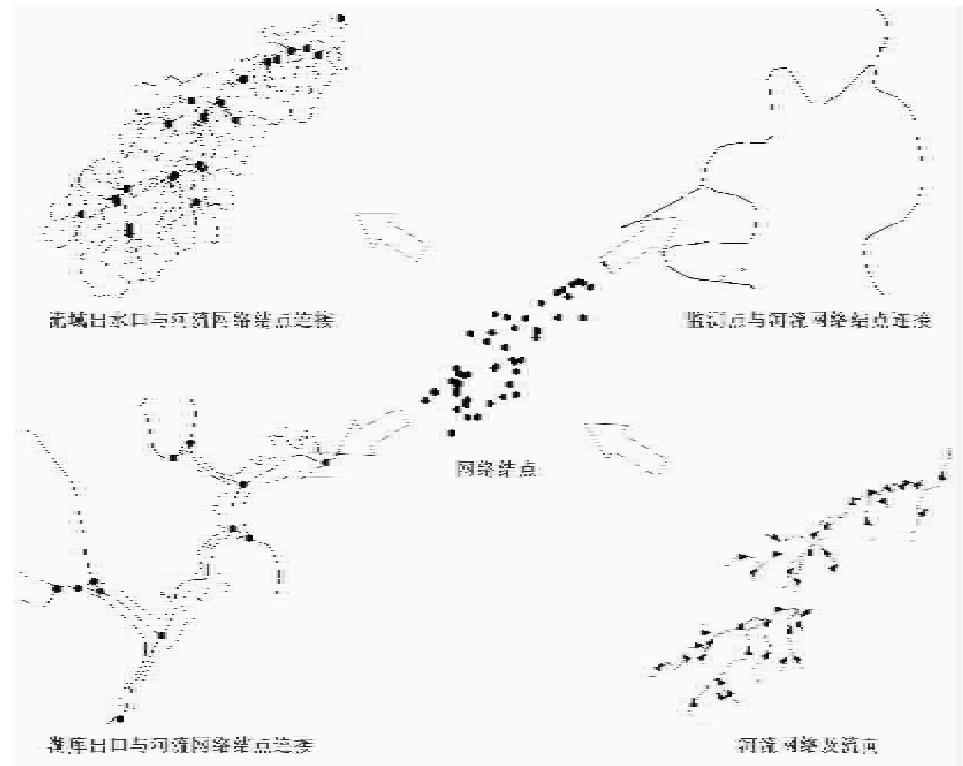


图 5 流域水文要素的空间联系和网络关系

Fig. 5 Hydrologic network and spatial relationship and of watershed components

2.3 流域水文要素的水力联系

流域空间网络关系反映了水文系统的空间结构, 表达了水及以水为媒介的物质输移路径, 水力联系反映物质输移的方向, 可以利用 ArcHydro 工具网络要素搜索功能, 通过流向关系自流域上游河网结点搜索与其连接的下游结点, 在结点属性表中增加 NextDownID 字段, 赋予下游结点的 HydroID 值, 建立结点自上游向下游的水力联系, 集水区可以通过结点连接关系获取下游集水区的 HydroID, 做类似的处理, 然后将集水区、结点连接表达流域自上游到下游的水力关系, 并通过这种连接关系计算每个结点的累积集水区面积, 集水区、结点的水力关系(图 6).

2.4 集成水文监测时间序列信息

地理信息系统一般都具有较强的空间数据管理能力, 但不易组织时间数据^[5], 而时间序列数据是地理过程分析的基础, 集成时间数据可以方便地建立地理过程模型, 服务于资源和环境管理决策, 针对这一问题, 时空地理数据模型一直是地理信息系统近年来的一个重要发展方向. 以往采用 Coverage 和 Shape 格式建立流域地理数据库时, 表达水文要素状态时间序列的数据都是独立建库的, 未能和地理空间数据进行集成, 在应用于模型构建与决策支持时, 需要大量的手工操作来收集某一地理要素状态参数. Geodatabase 数据库将地理要素空间位置信息和属性信息集成于同一文件, 由于采用了 Access 或其它大型的关系数据库, 可以将多个表格数据集成到同一文件, 同时还可以建立不同表之间的数据联系, 通过分析流域水文要素空

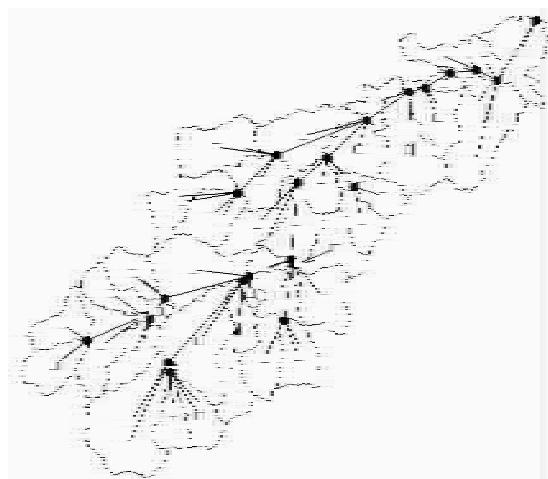


图 6 流域水文要素的水力联系

Fig. 6 Hydraulic relation expression of watershed system components

间分布、状态变量及其时间序列数据信息特征和关系,可以设计表的连接关系建立空间要素与状态监测序列的联系,这里采用 ArcHydro 的时间序列集成模式^[2],首先建立水文要素状态变量的描述信息(表 1)。

表 1 流域水文要素状态变量表

Tab. 1 The database fields of watershed feature variables

TSTypeID	Variable	Units	IsRegular	TSInterval
1	日降水	mm	True	24hour
2	日径流	mm	True	24hour
3	日水位	mm	True	24hour
4	日泥沙	g/m ³	True	24hour
5	时降水	mm	True	1hour
.....

表中对水文监测及水质监测的变量按照监测项目、监测时间间隔进行统一分类,用 TSTypeID 代码表示类别,按照监测项目类别组织各监测点的时间序列数据,建立 TimeSeries 表,表中 FeatureID 指向监测点分布图的 HydroID 字段(表 2)。

表 2 流域水文要素时间序列表

Tab. 2 The time series dataset of watershed feature variables

FeatureID	TSTypeID	TSDateTime	Tsvalue
889	2	1988-1-28	11
889	2	1988-1-29	12
889	2	1988-1-30	12
889	2	1988-1-31	12
889	2	1988-2-1	10
889	2	1988-2-2	9
889	2	1988-2-3	8
.....

应用 Geodatabase 的连接类将监测台站分布图、水文要素时间序列表及水文要素状态变量表相关字段进行连接,连接关系如图 7 所示,通过连接类可以实现基于台站空间信息查询不同监测变量某一时间段的时间序列信息。

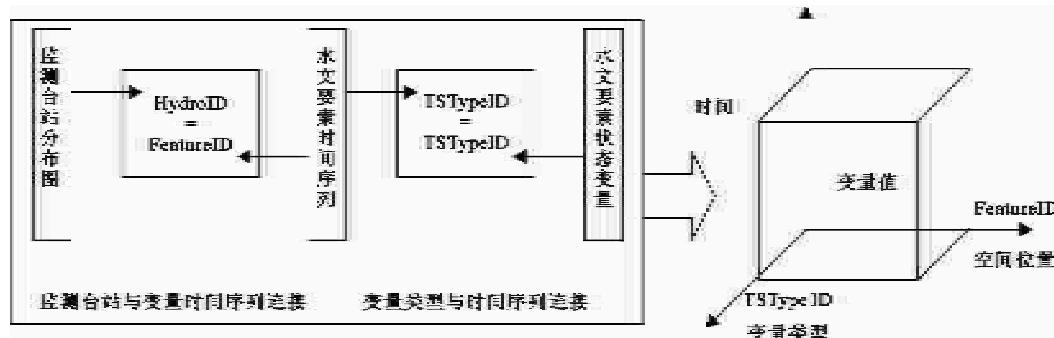


图 7 流域地理数据库集成水文水质监测时间序列方法

Fig. 7 Integration of spatial location and Time series of hydrologic and water quality

3 结语

流域系统是由众多要素组成的、普遍具有因果联系的复杂系统,从其系统结构来看,流域的复杂性体现为众多地理要素、不同尺度单元和复杂的水力联系,从流域信息特征来看,复杂性表现为既包括矢量又包括栅格信息,既包括点、线、面等不同的空间特征,又包括表达要素状态的不同尺度时间序列信息。本项研究揭示出面向对象的地理数据库技术可以实现接近流域现实的表达,并可以合理组织流域信息。所建立的西苕溪流域数据库具有以下特征:一是西苕溪流域地理数据库集成了流域水文、水质分析所需要的基本要素;二是西苕溪流域地理库收集河流流线、流域出水口、水文水质监测点、湖泊出水口及流向等结点、结边、方向信息,建立了逻辑结构严密的水文网络,实现流域要素空间联系的完整表达;三是西苕溪流域地理数据库通过自上游向下游搜索集水区、出水口、河流结点,建立了流域上下游的水力联系,表达了流域水文系统的水力特征;四是西苕溪流域地理数据库采用 Geodatabase 数据库,实现了流域栅格与矢量一体化信息表达,空间信息和要素状态时间序列的一体化表达。以上特征说明本项研究构建的西苕溪地理数据库完整地表达了流域的系统结构、空间联系、动力联系及系统状态特征,为流域信息整合提供了一个范例,对流域数据库构建以及流域模拟决策信息平台建设提供一些借鉴。

4 参考文献

- [1] 刘汉湖,杨武年,何 勇等. 面向对象的矿产地理数据库的设计与建立. 测绘科学, 2003, **28**(4), 55 – 54.
- [2] MacDonald, Andrew. Building a Geodatabase. Redlands, California: ESRI Press, 2001: 1 – 2, 141 – 166.
- [3] David R. M. Arc Hydro: GIS For WaterResource. Redlands, California: ESRI Press, 2002: 1 – 12.
- [4] Timothy Lee Whiteaker. Geographically Integrated Hydrologic Modeling Systems. The University of Texas at Austin, Phd. Dissertation, 2004: 4 – 8.
- [5] 李恒鹏,陈 霏,刘晓攻. 流域综合管理方法与技术. 湖泊科学, 2004, **16**(1): 85 – 90.